



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 32 15 571.9
㉔ Anmeldetag: 27. 4. 82
㉕ Offenlegungstag: 3. 11. 83

DE 32 15 571 A 1

㉑ Anmelder:

Dornier System GmbH, 7990 Friedrichshafen, DE

㉒ Erfinder:

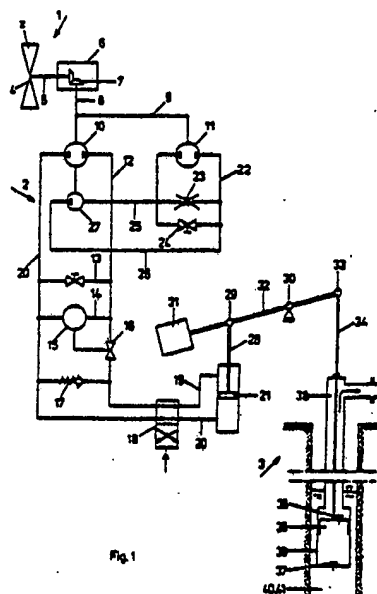
Fritzsche, Albert, Dr.-Ing., 7778 Markdorf, DE;
Speidel, Klaus, Dipl.-Ing., 7996 Meckenbeuren, DE

Behördenamt

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur Verbesserung der Betriebscharakteristiken eines Windenergiekonverters und einer damit verbundenen Arbeitsmaschine(n)

Das Verfahren bezieht sich auf die Verbesserung der Betriebscharakteristiken eines Windenergiekonverters (1) und einer damit verbundenen Arbeitsmaschine(n). Dabei wird durch Wahl einer geringen Blattzahl (z) am Rotor (4) des Windenergiekonverters (1) das Anlaufmoment reduziert. Die Energieübertragung und optimale Anpassung der Kennlinien des Windenergiekonverters (1) und der Arbeitsmaschine(n) erfolgt auf hydraulischem Weg, wobei in der Anlaufphase des Windenergiekonverters (1) ein Bypass- oder Hauptkreis (14 bzw. 12, 20) offengehalten und in der fortgeschrittenen Anlaufphase verzögert geschlossen wird, so daß der Windenergiekonverter (1) und die Arbeitsmaschine(n) (3, 69, 70) miteinander gekoppelt sind und zueinander eine stufenweise oder kontinuierliche Verstellung erfolgt. (32 15 571)



DE 32 15 571 A 1

27.04.82

3215571

DORNIER SYSTEM GMBH

7990 Friedrichshafen

Reg. S 421

P a t e n t a n s p r ü c h e :

- ① Verfahren zur Verbesserung der Betriebscharakteristiken eines Windenergiekonverters und einer damit verbundenen Arbeitsmaschine(n), dadurch gekennzeichnet, dass durch Wahl einer geringen Blattzahl (z) am Rotor (4) des Windenergiekonverters (1), dessen Anlaufmoment reduziert wird und die Energieübertragung und optimale Anpassung der Kennlinien des Windenergiekonverters (1) und der Arbeitsmaschine(n) auf hydraulischem Wege erfolgt, wobei in der Anlaufphase des Windenergiekonverters (1) ein Bypass- oder Hauptkreis (14 bzw. 12, 20) offengehalten und in der fortgeschrittenen Anlaufphase verzögert geschlossen wird, so dass der Windenergiekonverter (1) und die Arbeitsmaschine(n) (3, 69, 70) miteinander gekoppelt sind und zueinander eine stufenweise oder kontinuierliche Verstellung erfolgt.
2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieübertragung

zwischen dem Windenergiekonverter (1) und der Arbeitsmaschine(n) (3, 69, 70) durch einen an sich bekannten hydraulischen Hubkolben (21) und/oder Hydraulikmotor (67, 68) und Rohrleitungen (12, 19, 20) erfolgt, wobei das Hubvolumen der Verstellkolbenpumpe (10) und/oder des Hydraulikmotors (67, 68) so verstellt wird, dass die dem Windenergiekonverter (1) angebotene Windenergie bei jeder Windgeschwindigkeit (v) optimal genutzt wird.

3. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert für die Verstellung des Hubvolumens von einer Hilfseinrichtung (11, 22, 23, 24, 27) vorgegeben wird, wobei zur Vorgabe einer jeder Windgeschwindigkeit (v) zugeordneten optimalen Drehzahl (n_p) ein hydraulischer Hilfskreis (22) angeordnet ist, der über die Druckdifferenz einer Drossel (23) die Hubverstellung der Verstellkolbenpumpe (10) bzw. des Hydraulikmotors (67, 68) steuert.
4. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Änderung des Verdrängervolumens durch eine stufenweise Zuschaltung von mehreren Pumpen (10', 10'', 10''') oder Hydraulikmotoren (67, 68) nicht veränderbaren Verdrängungsvolumens erfolgt.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpen (10, 10', 10'', 10''') stufenweise vom Bypaß auf den Hauptkreis (12, 14, 20') geschaltet werden.

6. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Haupt- bzw. Bypasskreis (12, 14, 20') manuell oder durch Regelorgane (13, 14, 15, 16, 17) beeinflussbar ist.
7. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Förderstrom des Bypass- oder Hauptkreises (12, 14, 20') auf eine oder mehrere Arbeitsmaschinen (3, 69, 70) verzweigt wird (66).
8. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die optimale Kennlinie des Windenergiekonverters (1) durch andere Drosselcharakteristiken, z.B. eine Laminardrossel und andere Anpassungsfunktionen annähernde Federpakete unterschiedlicher Steifigkeit erreicht werden ($m \neq 1$).
9. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebscharakteristik der Verstellung des Schwenkwinkels (φ) eines schwenkbaren Zylinderblocks einer Axialkolbenpumpe ab einem Maximalwert mit zunehmender Windgeschwindigkeit (v) umgekehrt wird, wobei ein erstes Federpaket auf Block fährt und dadurch ein weiteres Federpaket wirksam wird.

27.04.82

3215571

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass kleinen Antriebsdrehzahlen ein grosses Verdrängungsvolumen zugeordnet wird, welches sich mit steigender Drehzahl verringert.

31.03..1982
Kr/Sz

15

DORNIER SYSTEM GMBH
7990 Friedrichshafen

Reg. S 421

Verfahren und Vorrichtung zur Verbesserung der Betriebs-
charakteristiken eines Windenergiekonverters und einer
damit verbundenen Arbeitsmaschine(n)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verbesserung der Betriebscharakteristiken eines Windenergiekonverters und einer damit verbundenen Arbeitsmaschine(n).

Maschinen zur Umsetzung der kinetischen Energie des Windes in ein Drehmoment sind Strömungsmaschinen, die je nach Einsatzbereich ein unterschiedliches Betriebsverhalten aufweisen müssen. Zu den wichtigsten Maßnahmen gehören hier der Anlauf der Anlage, der selbständig oder durch Blattverstellung erfolgen kann, und das Verhältnis von Rotorumfangsgeschwindigkeit und Windgeschwindigkeit am Nennbetriebspunkt. Der selbständige Anlauf erfolgt nur - und bei kleineren Windgeschwindigkeiten um so besser, wenn die Rotorblätter bei Drehzahl null ein hinreichend hohes aerodynamisches Moment liefern. Die dazu bekannteste Lösung ist der vielblättrige Rotor der sogenannten amerikanischen Bauart, der auch als Langsamläufer

bezeichnet wird, weil seine Drehzahl auch bei höheren Windgeschwindigkeiten gering bleibt. Ein grosses Verhältnis von Umfangs- zu Windgeschwindigkeit wird hierbei nicht erreicht (Schnellaufzahl). Nur mit einer Änderung des Blattanstellungswinkels, wie sie bei zwei- oder dreiblättrigen Anlagen mit horizontaler Drehachse bekannt ist, sind beide Merkmale befriedigend realisierbar. Bei Anlagen im unteren Leistungsbereich, die aus Kostengründen auf eine solche aufwendige Regelung verzichten müssen, ist eine Kompromißlösung zu finden, die notwendigerweise näher bei einem befriedigenden Anlaufverhalten liegt.

Die Nutzung der Windenergie wird aber nicht allein durch eine befriedigende Funktionsweise des Windenergiekonverters gelöst, sondern erst, wenn Windenergiekonverter und Verbraucher so aufeinander abgestimmt sind, dass das Energieangebot des Windes gemäss den Anforderungen des Verbrauchers wirtschaftlich genutzt wird. Da es aus physikalischen Gründen nicht möglich ist, das Betriebsverhalten der meist als Serienprodukt hergestellten Verbraucher zu ändern, muß das Betriebsverhalten der Windenergiekonverter der damit verbundenen Maschinen (z.B. Turbo- und Kolbenpumpen, Verdichtern und Kältekompressoren, mechanischen Arbeitsmaschinen, sowie Synchron- und Asynchrongeneratoren) angepasst werden. Mit den physikalischen Grössen Drehzahl und Drehmoment bzw. Leistung lässt sich das Betriebsverhalten dieser Maschinen einigermaßen beschreiben und ordnen. Man findet dabei Vertreter in folgenden Gruppen: das Drehmoment ist keine Funktion der Drehzahl, ist unabhängig

von der Drehzahl konstant, ist der Drehzahl proportional und ist dem Quadrat der Drehzahl proportional. Windenergiekonverter gehören unabhängig von der Bauweise, ob Rotoren mit horizontaler oder vertikaler Drehachse, ob Auftriebs- oder Widerstandsläufer gemäss obiger Gliederung zur letzten Gruppe. Die Probleme der Anpassung sind z.B. bei der windgetriebenen Tiefbrunnenpumpe verdeutlicht. Bei diesen sind seit Jahrzehnten mechanische Einrichtungen im Gebrauch, die wie bei motorisch angetriebenen Erdölförderanlagen, das Drehmoment im Saug- und Druckbetrieb vergleichmässigen. Für den Rotor des Windenergiekonverters bleibt mit den Nulldurchgängen des Drehmomentes des Kurbeltriebes und Ungleichmässigkeit des Laufes und damit eine weitere Erhöhung des Anlaufmomentes bestehen.

Die hydrostatische Energieübertragung und Drehmomentenwandlung ist vom Flugzeugbau bis zu den Baumaschinen praktisch Stand der Technik. Die Möglichkeit, durch geeignete Regeleinriffe bei variabler Antriebsdrehzahl eine konstante Abtriebsdrehzahl zu erreichen, war auch für die Stromerzeugung mit konstanter Frequenz bei variabler Drehzahl des Windkonverters attraktiv, ist jedoch im Bereich grosser Leistungen der elektrischen Lösung unterlegen.

Einrichtungen zur Nutzung der Windenergie sind bekannt, z.B. aus der DE-OS 28 38 139, bei der die Windenergie durch Leistungsverzweigung und mechanische Dreh- und Hubbewegungen in mechanische Arbeit und/oder elektrische Energie und in Wärme

umgesetzt wird. Dabei wird durch Antrieb einer hydraulischen Pumpe ein Hydraulikkreislauf in Gang gesetzt, der durch mehrere, wahlweise voneinander getrennte oder direkte oder regeltechnisch miteinander verbundene Unterkreisläufe unterteilt ist, so dass die gewonnene Energie gleichzeitig oder zeitlich verschoben einer unterschiedlichen Nutzung zuführbar ist.

In der US-PS 41 43 522 ist ein System mit Leistungsverzweigung beschrieben, das aus einem Windkonverter, einer hydraulischen Pumpe und einem Motor zum Antrieb einer Kältemaschine bzw. Wärmepumpe besteht.

Bei einer aus der DE-OS 29 00 797 bekannten Vorrichtung zum Umwandeln von Windenergie in Wärme fördert eine von einer Windturbine angetriebene Verdrängerpumpe, die ein Strömungsmittel durch eine Drossel von im wesentlichen konstanter Wirkfläche zu einer die Strömungsgeschwindigkeit des Strömungsmittels wieder herabsetzenden Einrichtung. Hierbei wird über die mit Verdrängung arbeitende Pumpe ein unter hohem Druck stehendes Strömungsmittel durch eine Blende oder Düse hindurchgeleitet und dadurch stark beschleunigt. Anschließend wird das stark beschleunigte Strömungsmittel in dem nachgeschalteten Diffusor wieder verzögert und dabei die kinetische Energie der hohen Strömungsgeschwindigkeit in Wärme umgesetzt.

Schließlich ist aus der US-PS 41 14 809 ein weiteres durch Windkraft betätigtes hydraulisches Heizungssystem bekannt, das sich durch Steuerung der Druckdifferenz in einer Drossel

an das momentane Angebot von Windenergie anpasst. Da eine Drossel mit turbulenter Strömungscharakteristik ohnehin dem Betriebsverhalten des Windenergiekonverters theoretisch optimal angepasst werden kann, dürfte es sich hierbei nur um die Beeinflussung sekundärer Effekte handeln. Die Temperaturerhöhung des Strömungsmediums ist der Druckdifferenz direkt proportional, woraus resultiert, dass eine Steuerung oder Regelung bei konstantem Volumenstrom zur Befriedigung der Anforderungen eines Heizungssystems ungeeignet ist.

Schliesslich ist im Journal of Energy, Nov.-Dez. 1981 auf Seite 365 eine Windenergieanlage beschrieben, bei der die Windenergie von einem Windenergiekonverter auf einen Kompressor und von diesem auf eine Turbine übertragen und von dieser durch einen nachgeschalteten Generator in elektrischen Strom umgewandelt oder durch eine nachgeschaltete hydraulische Pumpe auf eine damit verbundene Maschine übertragen wird.

Nachteilig bei allen derartigen Einrichtungen ist ferner, dass die auf der Basis der konventionellen Einsatzgebiete ölhydraulischer Steuerungen vorgesehenen Regeleinrichtungen nur unterschiedlichen Betriebspunkten eines Verbrauchers genügen und die vom Wind angebotene Energie nicht optimal nutzen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die optimale Nutzung eines nicht steuerbaren Angebots von Primärenergie durch eine Energieübertragung zu realisieren und eine günstige Energieausbeute dadurch zu ermöglichen, dass der Anlagenbetrieb eines Windenergiekonverters

sowohl bei niedrigen als auch bei höheren Windgeschwindigkeiten in einer für alle Systemkomponenten optimalen Weise erfolgt. Die Komponenten unterschiedlicher physikalischer Funktionsgesetze sollten dabei so einander angepasst sein, dass das Energieangebot mit optimalem Systemwirkungsgrad genutzt wird, unabhängig davon, welcher die gleiche Betriebscharakteristik aufweisende Energieverbraucher durch den Windkonverter betrieben wird. Ferner sollte die damit erzielte Anpassung von Arbeitsmaschinen und Windenergiekonverter auch den Anlauf des gesamten Systems umfassen. Erfolgt der Anlauf des Windenergiekonverters ohne Abgabe von Nutzleistung, sollte damit eine Auslegung für den Hauptbetriebsbereich möglich sein.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, dass durch eine wesentliche Verringerung des Anlaufmoments auch die Blattzahl des Rotors eines Windenergiekonverters reduziert werden kann, wobei nur die Lagerreibung der Anlage und ihre Massenträgheit zu überwinden sind. Der dadurch bewirkte höhere Leistungsbeiwert des Rotors mit geringerer Blattzahl (z.B. nur 3 bis 5 Blätter), der Betriebspunkt mit bestem Wirkungsgrad im Bereich der hohen mittleren Windgeschwindigkeit, eine aerodynamisch verbesserte Profilgestaltung von wenigen Rotorblättern und ein insgesamt höherer Systemwirkungsgrad führen zu einer Verringerung des Rotordurchmessers in der Größenordnung von 50%. Zu den sekundären Vorteilen, welche sich aus dem kleineren und weniger materialaufwendigen Rotor ableiten, kommt noch ein geringerer Bauaufwand für den dazu benötigten Turm und dessen Fundament hinzu.

Die Betriebscharakteristik bzw. Kennlinie eines Windenergiekonverters lässt sich als Zusammenhang von abgegebener Leistung P_1 und Drehzahl n_1 mit dem Proportionalitätsfaktor k_1 bei optimaler Regelung angeben durch

$$P_1 = k_1 \cdot n_1^3 \quad , \quad (1)$$

in analoger Weise für alle Arbeitsmaschinen mit dem für jede der eingangs erwähnten Gruppen charakteristischen Exponenten m ,

$$P_2 = k_2 \cdot n_2^m \quad . \quad (2)$$

Unabhängig von der Art der Energieübertragung zwischen Rotorwelle und Arbeitsmaschine, gibt es ein Übersetzungsverhältnis i_1 zwischen Drehzahl bzw. Hubfrequenz der Arbeitsmaschine und Rotordrehzahl, definiert durch

$$i_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad . \quad (3)$$

Einschliesslich der Übertragungsverluste erfordert also eine optimale Anpassung ein drehzahlabhängiges Übersetzungsverhältnis, wobei die Potenzfunktion für die Gruppe der Arbeitsmaschine charakteristisch ist, von

$$i_1 \sim n_1^{\frac{3-m}{m}} \quad . \quad (4)$$

Erfindungsgemäss erfolgen Energieübertragung und optimale Anpassung auf hydraulischem Wege. Wird von der Rotorwelle eines Windenergiekonverters über ein mechanisches Getriebe (Übersetzung $i_2 = \frac{n_p}{n_1}$) eine Hydraulikpumpe mit verstellbarem Hubvolumen V_p angetrieben, die auf einen Hydraulikmotor mit dem

Hubvolumen V_M arbeitet, so ist das Übersetzungsverhältnis zwischen Pumpen- und Motordrehzahl

$$i_3 = \frac{V_M}{V_p} = \frac{n_p}{n_m} \quad (5)$$

Bei Axialkolbenpumpen mit schwenkbarem Zylinderblock ist das Hubvolumen proportional dem Schwenkwinkel φ , ausgehend von der Nullfördermenge bei $\varphi = 0$ vergrössert sich der Kolbenhub mit wachsendem φ . Damit folgt aus (4) die Vorschrift, für den Schwenkwinkel φ , um die Fördermenge der Pumpe V_p entsprechend der Beziehung $V_p = V_0 \sin \varphi$ zu ändern

$$\sin \varphi \sim n_p^{\frac{3-m}{m}} \quad (6)$$

Natürlich gelten diese theoretischen Zusammenhänge nur für den verlustfreien Betrieb des Systems; praktisch wird die Regelungsvorschrift durch die auftretenden Reibungs- und Leckverluste etwas modifiziert.

Werden Arbeitsmaschinen wie Pumpen und Verdichter nicht von Elektromotoren nahezu konstanter Drehzahl angetrieben, ergibt sich der Betriebspunkt aus den Kennlinien der Maschine und des Systems, wobei die Drehzahl ein zusätzlicher Parameter ist. Im Falle einer ausschliesslich dynamischen Förderhöhe einer Turbopumpe ist bei Vernachlässigung von Reibung und Leckagen die Leistung proportional der 3. Potenz der Drehzahl. Mit $m = 3$ ist also diese Maschine im Prinzip ohne Regelung dem Windenergiekonverter optimal angepasst. Zahlreiche Maschinen

gehören zur Gruppe, die durch $m = 2$ gekennzeichnet ist. Kolbenpumpen, deren aufgenommene Leistung linear von der Drehzahl abhängt, gehören zur Gruppe $m = 1$, bei der das Antriebsmoment nahezu unabhängig von der Drehzahl ist. Zu diesem Ordnungsprinzip zählt auch der Sonderfall, bei dem die Regelung auf konstante Drehzahl eines Generators bei variabler Drehzahl eines Windenergiekonverters mit $m = \infty$ erfolgt.

Windenergiekonverter und Hydraulikpumpe sind über ein mechanisches Getriebe geeigneter Übersetzung (i_2) miteinander verbunden. Das Übersetzungsverhältnis wird zweckmässigerweise so gewählt, dass in Abhängigkeit vom Rotordurchmesser und seiner Schnellaufzahl die Pumpendrehzahl n_p im Bereich eines guten Maschinenwirkungsgrads liegt. Um hierbei das Anlaufmoment klein zu halten, wird ein Bypasskreis offengehalten, wenn die verstellbare Axialkolbenpumpe nicht auf den Schwenkwinkel $\varphi = 0$ gebracht werden kann. Im Falle des während des Anlaufens mit kleinen Fördermengen durchströmten Bypasskreises ist der Druckverlust klein, auch dann, wenn eine Drossel angeordnet wird. Mit wachsender Drehzahl des Windenergiekonverters und damit wachsender Strömungsgeschwindigkeit, erhöht sich die Druckdifferenz vor und hinter der Drossel. Diese liefert schliesslich das Signal, den Hauptkreis zu öffnen. Bei entsprechender Windgeschwindigkeit steigt der Druck in der Druckleitung zwischen Hydraulikpumpe und Motor auf den zum Anlauf der Arbeitsmaschine erforderlichen Wert an. Ist der Motor ein doppelt wirkender Hydraulikkolben, der über eine mechanische

Wippe auf eine z.B. in einem Brunnen installierte Kolbenpumpe wirkt, so ist der Öldruck der Förderhöhe der Kolbenpumpe direkt proportional.

Umfasst der Regelbereich der Verstellpumpe bzw. des Verstellmotors den Betriebspunkt $\varphi = 0$, so sind neben der Optimalregelung keine weiteren Maßnahmen für eine Verbesserung der Anlaufphase erforderlich.

Für den Fall $m = 1$ muß bei theoretischer Betrachtung das Hubvolumen und damit der Verstellwinkel φ dem Quadrat der Pumpendrehzahl proportional sein. Um die Regelgrösse zu erhalten, wird ein Nebenkreis aus folgenden Elementen gebildet: eine Pumpe mit drehzahlproportionaler Fördermenge (z.B. Zahnradpumpe), welche mit einer Drehzahl angetrieben wird, die der der Hauptpumpe direkt proportional ist und einer turbulenten Drossel im geschlossenen Kreis.

Die Druckdifferenz vor und hinter der Drossel ist somit dem Quadrat der Drehzahl proportional. Wirkt die Druckdifferenz auf einen mit der Hubverstellung der Pumpe starr verbundenen federbelasteten Kolben, so wird der Winkel φ proportional dem Quadrat der Pumpendrehzahl verstellt und dadurch der Windenergiekonverter auf eine Linie maximaler Leistung gehalten. Steigt die Windgeschwindigkeit, so liefert der Windenergiekonverter einen Leistungsüberschuß bei noch unverändertem Hubvolumen der Pumpe (konstantes Moment). Mit der Beschleunigung des Windenergiekonverters steigt auch die Drehzahl der Haupt- und Regelpumpe. Aus der dabei ansteigenden Druckdifferenz an der Drossel resultiert die Winkelverstellung der Hauptpumpe.

Zur stufenlosen Hubverstellung einer Axialkolbenpumpe können auch mehrere auf einer Welle angeordnete und stufenweise vom Bypass- auf den Hauptkreis schaltbare Zahnradpumpen (konstantes Verdrängungsvolumen) vorgesehen werden. Auch ist es möglich, manuell oder durch weitere Regelorgane in den Hauptkreis einzugreifen oder den Förderstrom auf mehrere Arbeitsmaschinen zu verzweigen.

Um eine übermässige Belastung des Systems bei Windgeschwindigkeiten oberhalb des vorgesehenen Betriebsbereiches auszuschliessen, kann der im Luv des Turmes laufende Rotor mit Hilfe einer Windfahne aus dem Wind gedreht werden. Da diese Regelung relativ träge erfolgt und auch von Änderungen der Windrichtung überlagert wird, kann der Mechanismus, der die Anlage auf der optimalen Kennlinie hält, durch einen gegenseitig wirkenden Kolben ergänzt werden, welcher die Verstellbewegung nach Erreichen des maximalen Winkels bei weiter steigendem Druck umkehrt.

Im Falle der Kennlinie $m = 2$ der Arbeitsmaschine, bei $\varphi \sim n_p^{1/2}$, wird die optimale Kennlinie des Windenergiekonverters durch eine Laminardrossel und eine die Wurzelfunktion annäherndes Federpaket unterschiedlicher Steifigkeiten erreicht. Damit sind mit beliebiger Genauigkeit auch die Fälle mit gebrochenem Exponenten m und alle praktischen Abweichungen von theoretischen Gesetzmässigkeiten regelungstechnisch zu verwirklichen. Eine Variante der energetisch optimalen Anpassung von Windenergiekonverter und Arbeitsmaschine ist dann erforderlich, wenn die Arbeitsmaschine bis zu einer bestimmten Drehzahl leerläuft und erst nach Überschreitung dieser Schwelle Nutzarbeit

liefert; z.B. eine Turbopumpe mit einer im wesentlichen geodätischen Förderhöhe. Um bei niedrigen Windgeschwindigkeiten bereits Wasser zu pumpen, wenn auch nur in geringer Menge, muß durch ein grosses Übersetzungsverhältnis diese Schwellendrehzahl gerade überschritten werden. In diesem Teilbereich handelt es sich um eine Regelung auf annähernd konstante Drehzahl ($m \approx \infty$), um eine Mindestdrehzahl der Turbopumpe zu erreichen, bis bei höheren Windgeschwindigkeiten die optimale Kennlinie erreicht wird und die Regelung dieser bis zum Abregeln folgt.

Ausführungsbeispiele sind folgend beschrieben und durch Skizzen erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 einen schematischen Aufbau einer Vorrichtung zur Nutzung der Windenergie,
- Fig. 2 eine mögliche Ausführung einer im Bypaßkreis angeordneten Drossel,
- Fig. 3 ein Kennlinienfeld für den Regelungsvorgang eines Windenergiekonverters und einer Pumpe bei kontinuierlicher Leistungsanpassung,
- Fig. 4 eine Ausführungsform der hydraulischen Energieübertragung durch mehrere Pumpen mit konstantem Verdrängungsvolumen,
- Fig. 5 ein Regelkolben zur Regelung einer Verstellkolbenpumpe,

Fig. 6 ein den Bereich des Abregelns mit einschliessen-
des Verstellorgan,

Fig. 7 eine Ausführungsform der Leistungsverzweigung
eines hydraulischen Kreises.

Aus Fig. 1 ist der Aufbau einer Vorrichtung zur Nutzung der Windenergie in schematischer Darstellung ersichtlich. Mit der Vorrichtung wird mittels eines Windenergiekonverters 1 und einer davon bewirkten hydraulischen Energieübertragung durch einen hydraulischen Kreis 2 eine Tiefbrunnenpumpe 3 betrieben. Der aus einer bestimmten Blattzahl z bestehende Rotor 4 des Windenergiekonverters 1 ist formschlüssig durch eine Welle 5 mit einem mechanischen Übersetzungsgetriebe 6 verbunden, welches z.B. eine Kegelradstufe 7 enthält, wodurch eine in der Fig. nicht dargestellte hydraulische Drehdurchführung von einem um die Hochachse rotierenden Turmkopf in eine boden- feste Anlage vermieden wird. Eine solche hydraulische Dreh- durchführung für zwei Leitungen, die ein bekanntes Hydraulik- bauteil ist, kann ebenso vorgesehen werden, wenn die Pumpen im um die Hochachse drehbaren Turmkopf angeordnet werden. Mit einer ca. 90° Umlenkung des Übersetzungsgetriebes 6 und der Anordnung von damit verbundenen Antriebswellen 8, 9 sind eine Verstellkolben- bzw. Haupt- und eine Regelpumpe 10, 11 fest mit einer in der Fig. nicht näher gezeigten Turmkonstruk- tion verbunden. Die Verstellkolben- bzw. Hauptpumpe 10 fördert eine Hydraulikflüssigkeit auf einen Hauptkreis bzw. eine Druck- leitung 12, welche(r) einen manuell betätigbaren Bypaß 13,

einen Bypasskreis 14 mit Drossel 15 zur Ansteuerung eines Ventils 16 im Hauptkreis 12, ein Rückschlagventil 17, einen Steuerkolben 18 zur Umsteuerung der Druckleitung 19 und Rückleitung 20 und einen damit verbundenen Hubkolben 21 enthält. Die Regelpumpe 11 fördert die Hydraulikflüssigkeit auf einem Hilfskreis 22, welcher über eine justierbare Drossel 23 und ein Handventil 24 schliessbar ist. Eine in der Drossel 23 erzeugte Druckdifferenz wird durch Leitungen 25, 26 auf eine Schwenkwinkelverstellung 27 der Verstellkolben- bzw. Hauptpumpe 10 übertragen.

Der Hubkolben 21 wirkt durch seine Kolbenstange 28 im Drehpunkt 29 auf der einen Hälfte eines auf einen in einem fixierten Drehpunkt 30 gelagerten und durch ein Gewicht 31 beaufschlagten Hebel 32, an dessen anderem Ende im Drehpunkt 33 die Kolbenstange 34 der Tiefbrunnenpumpe 3 angelenkt ist und welcher den darin angeordneten mit einem Auslaßventil 35 versehenen Teilkolben 36 in einem mit einem Einlaßventil 37 versehenen und mit einem Steigrohr 38 verbundenen Zylinder 39 auf- und abbewegt und dabei das sich im Brunnen 40 sammelnde Wasser 41 nach oben fördert (siehe Richtungspfeil).

In Fig. 2 ist eine gemäss Fig. 1 mögliche Ausführung einer im Bypasskreis 14 angeordneten Drossel 15 dargestellt, welche mit der Druckleitung 12 und der Rückleitung 20 verbunden ist. Die Drossel 15 erzeugt durch die von ihrem Gehäuse 42 und einer darin verschiebbar angeordneten Nadel 43 gebildeten Verengung einen Druckverlust. Dieser Druckverlust erhöht den Druck im

Bypaßkreis 14, welcher sich ab einer durch eine Feder 44 einstellbaren Schwelle durch die Verschiebung eines mit der Nadel 43 und Feder 44 zusammenwirkenden und durch eine Verbindungsleitung 45 beaufschlagten Kolben 46 schliesst.

Aus Fig. 3 ist ein Kennlinienfeld mit dem Regelungsvorgang eines gemäss Fig. 1 beschriebenen Windenergiekonverters 1 und Pumpe 10 bzw. 11 bei kontinuierlicher Leistungsanpassung ersichtlich. Das Kennlinienfeld ist mit einem konstanten Übersetzungsverhältnis i_2 eines mechanischen Getriebes auf das Drehmoment M_p und die Drehzahl n_p einer Pumpe umgerechnet, wobei als Parameter die Windgeschwindigkeit v eingetragen ist. Der Windenergiekonverter 1 beginnt bei einer Windgeschwindigkeit v_1 in Punkt 47 zu drehen. Nach Überwindung des Losbrechmomentes fällt das Reibungsmoment auf Punkt 48 ab, so dass der Energieüberschuß bei weiter anhaltender Windgeschwindigkeit v_1 den Rotor beschleunigt, bis im Punkt 49 das Gleichgewicht erreicht ist und ein Betriebspunkt auf der ansteigenden Kurve 50 optimaler Leistung angefahren bzw. erreicht ist. In einer darunter verlaufenden Kurve 51 ist in nicht maßstäblicher Überhöhung das von einer Regelpumpe 11 dem Quadrat der Drehzahl proportionale aufgenommene Drehmoment dargestellt.

Ausgehend vom Betriebspunkt 52 der Hauptpumpe 10 (Fig. 1) folgt das Drehmoment im ersten Teil praktisch einer horizontal verlaufenden Kurve 53, während wegen der von v_I und v_{II} ansteigenden Windgeschwindigkeit sich der Windenergiekonverter 1

beschleunigt und die Pumpendrehzahl ansteigt. v_I und v_{II} werden hier als zwei Windgeschwindigkeiten verstanden, deren Differenz den Regelvorgang bewirkt. Sobald eine dem Drehzahlanstieg proportionale Erhöhung der Druckdifferenz in der justierbaren Drossel 23 auf die Schwenkwinkelverstellung 27 wirkt, erhöht sich das Drehmoment der Hauptpumpe 10. Dabei wird der Umlenkpunkt der Kurve 53 überfahren und ein bei der Windgeschwindigkeit v_{II} stabiler und auf der Kurve 50 liegender Betriebspunkt 54 erreicht.

In Fig. 4 ist eine Fig. 1 gemässe Variante einer Ausführungsform der hydraulischen Energieübertragung dargestellt. Hierbei wird die vom Windenergiekonverter 1 über das Übersetzungsgetriebe 6 angetriebene Verstellkolben- bzw. Hauptpumpe 10 (Fig. 1) durch Ein- bzw. Nachschalten von mehreren, z.B. drei Pumpen 10', 10'', 10''' konstanten Verdrängungsvolumens ersetzt. Die Regelpumpe 11 erfüllt hierbei die gleiche Aufgabe wie in Fig. 1 beschrieben.

Der Druck in der Leitung 22 vor der justierbaren Drossel 23 wirkt auf einen Verstellkolben 27', der stufenweise die Leitungen 55, 56, 57 vom Bypasskreis 20' auf die zu einer in der Fig. nicht gezeigten Arbeitsmaschine führenden Leitung 58 umschaltet. Die Leitung 58 ist mit der Rückleitung 20 über den Bypass 13 und das Rückschlagventil 17 verbunden.

In Fig. 5 ist schematisch eine Verstellkolbenpumpe 10 mit Antriebswelle 8 und Leitungen 12 und 20 (Fig. 1) mit über einen Verstellmechanismus 59 und einer im Punkt 60 angreifenden

Kolbenstange 61 des Steuerkolbens 63 dargestellt. Der Steuerkolben 63 ist einseitig von einer Feder 62 druckbeaufschlagt. Je nach der im Steuerkreis 25, 26 (Fig. 1) herrschenden Druckdifferenz wird der Steuerkolben 63 verschoben und dabei das Hubvolumen der Steuerkolbenpumpe 10 verstellt.

In Fig. 6 wird, wie auch in Fig. 5 ersichtlich, die Verstellkolbenpumpe 10 (Fig. 1) durch ein von dem Hilfskreis 25, 26 angesteuertes Regelorgan 63' verstellt, hier mit der Ergänzung durch ein nach dem gleichen Funktionsprinzip aufgebautes Regelorgan 65 zum Abregeln der Verstellkolbenpumpe 10 bei hohen Windgeschwindigkeiten. Die Druckdifferenz der Drossel 23 beaufschlagt hier die Kolben 63' und 65 in gegensinniger Richtung. Das Regelorgan mit dem Kolben 63' ist beweglich angeordnet und nur über Gehäuse und Kolbenstange 64 sowie Verstellmechanismus 59 geführt. Dazu ist es erforderlich, dass die Zweige der Leitungen bzw. des Hilfskreises 25, 26 zum Kolben 63' flexibel sind. Da die Feder 62 wesentlich schwächer als die Feder 62' ist, ergibt sich bei kleinen Druckdifferenzen eine Bewegung der Kolbenstange 61 nach rechts und sobald die Feder 62 bei höherer Druckdifferenz auf Block gefahren ist, beginnt sich der Federweg der Feder 62' zu verringern, wodurch über den Kolben 65, die Stangen 64 und 61 eine rückläufige Bewegung des Mechanismus 59 eingeleitet wird.

Schliesslich zeigt Fig. 7 ein der Fig. 1 gemässes Ausführungsbeispiel der Leistungsverzweigung eines vom Windenergiekonverter 1, dem Übersetzungsgetriebe 6, der Verstellkolben- bzw.

Hauptpumpe 10 angetriebenen und von Bypaß 13, Bypaßkreis 14, Ventil 16 und Rückschlagventil 17 beeinflussten hydraulischen Hauptkreises 12, 20. Durch Anordnung einer Verzweigung 66 im Hauptkreis bzw. in der Druckleitung 12 sind zwei Hydraulikmotoren 67, 68 mit Arbeitsmaschinen 69, 70 beaufschlagbar.

-23-
Leerseite

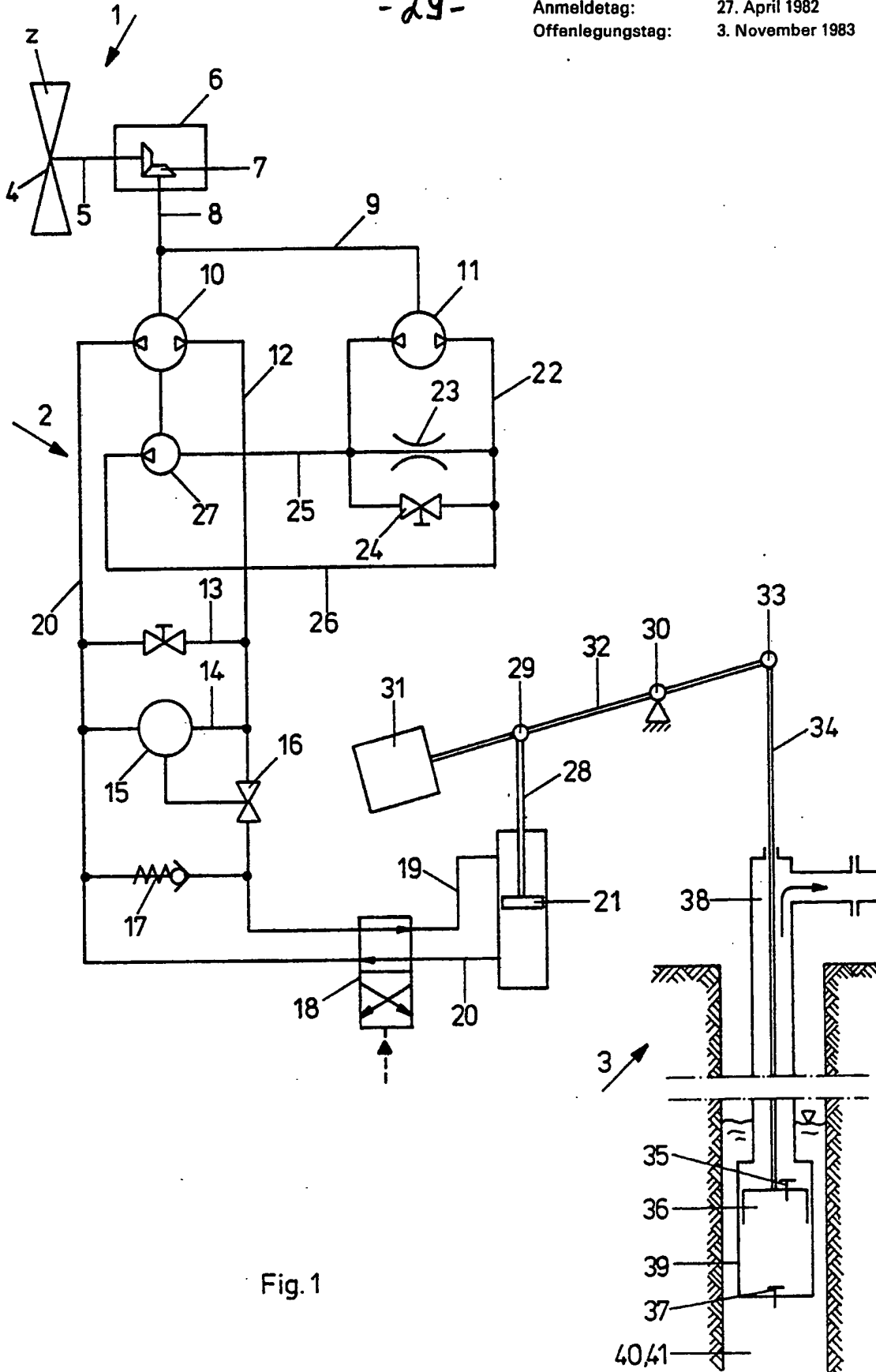


Fig. 1

270480

-24-

3215571

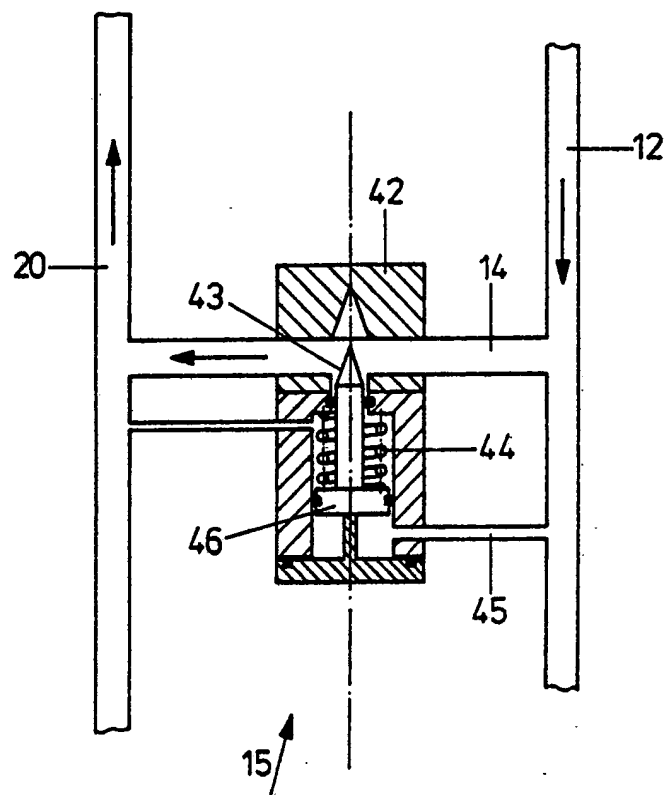


Fig. 2

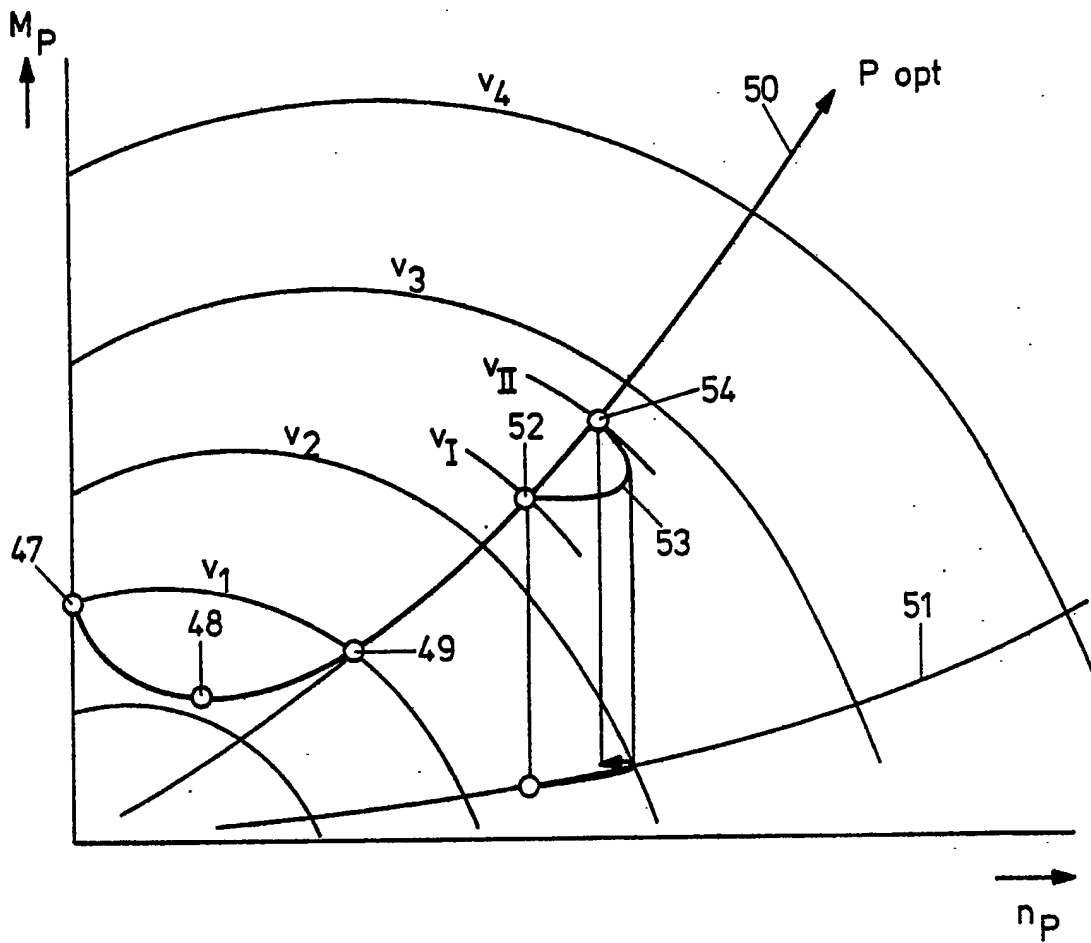


Fig.3

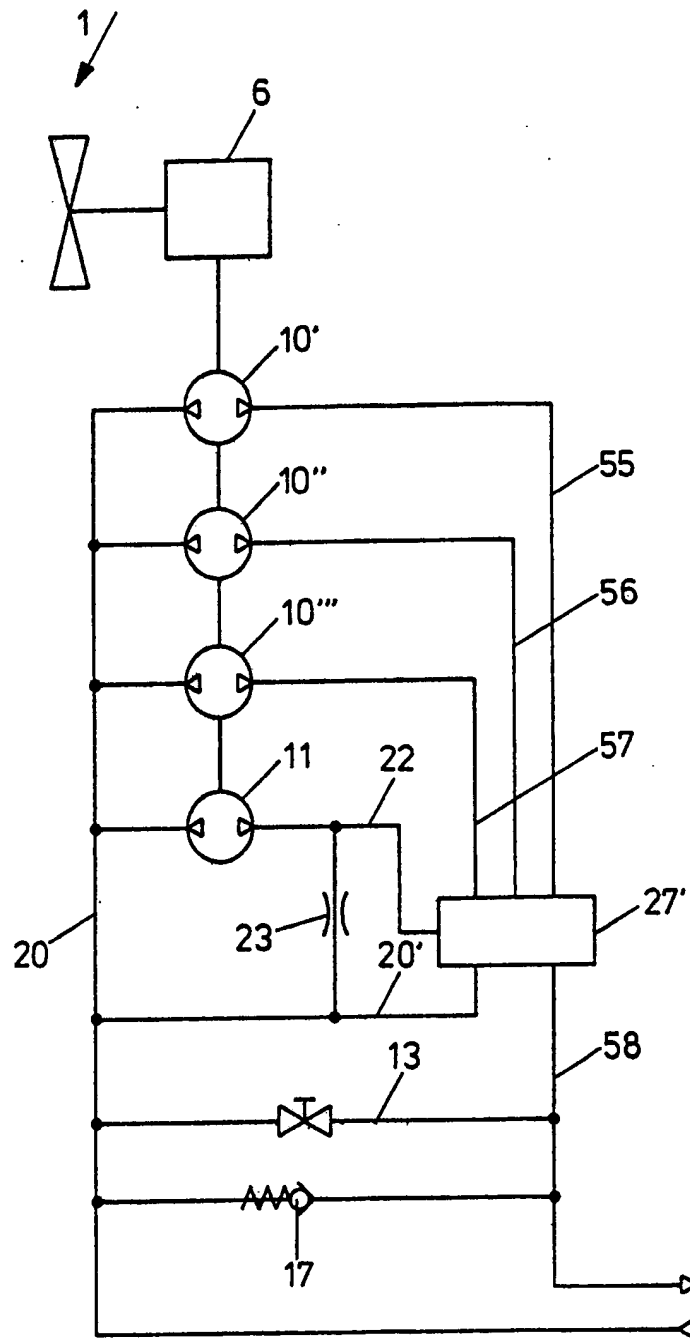


Fig. 4

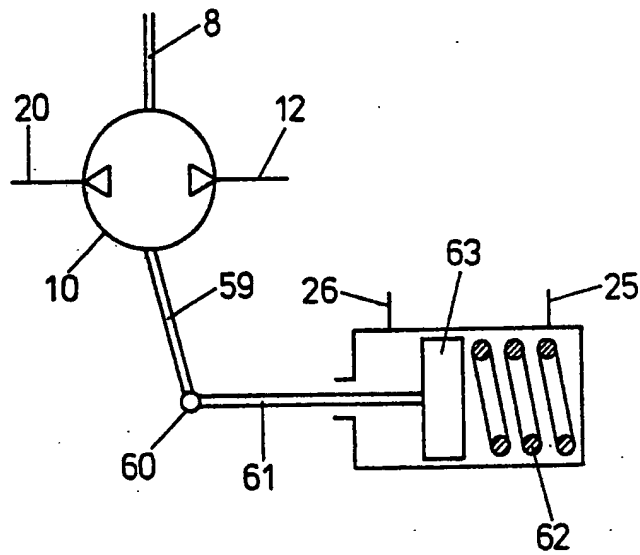


Fig. 5

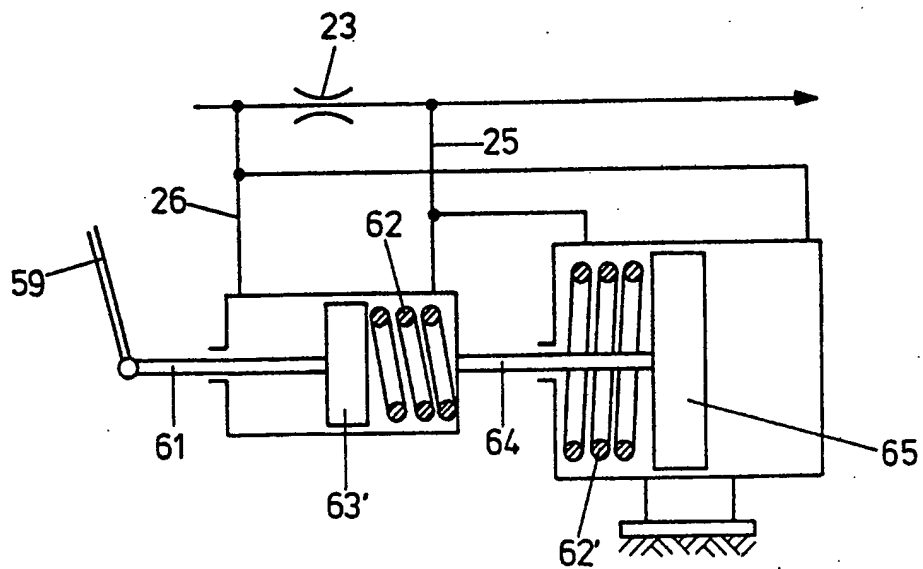


Fig. 6

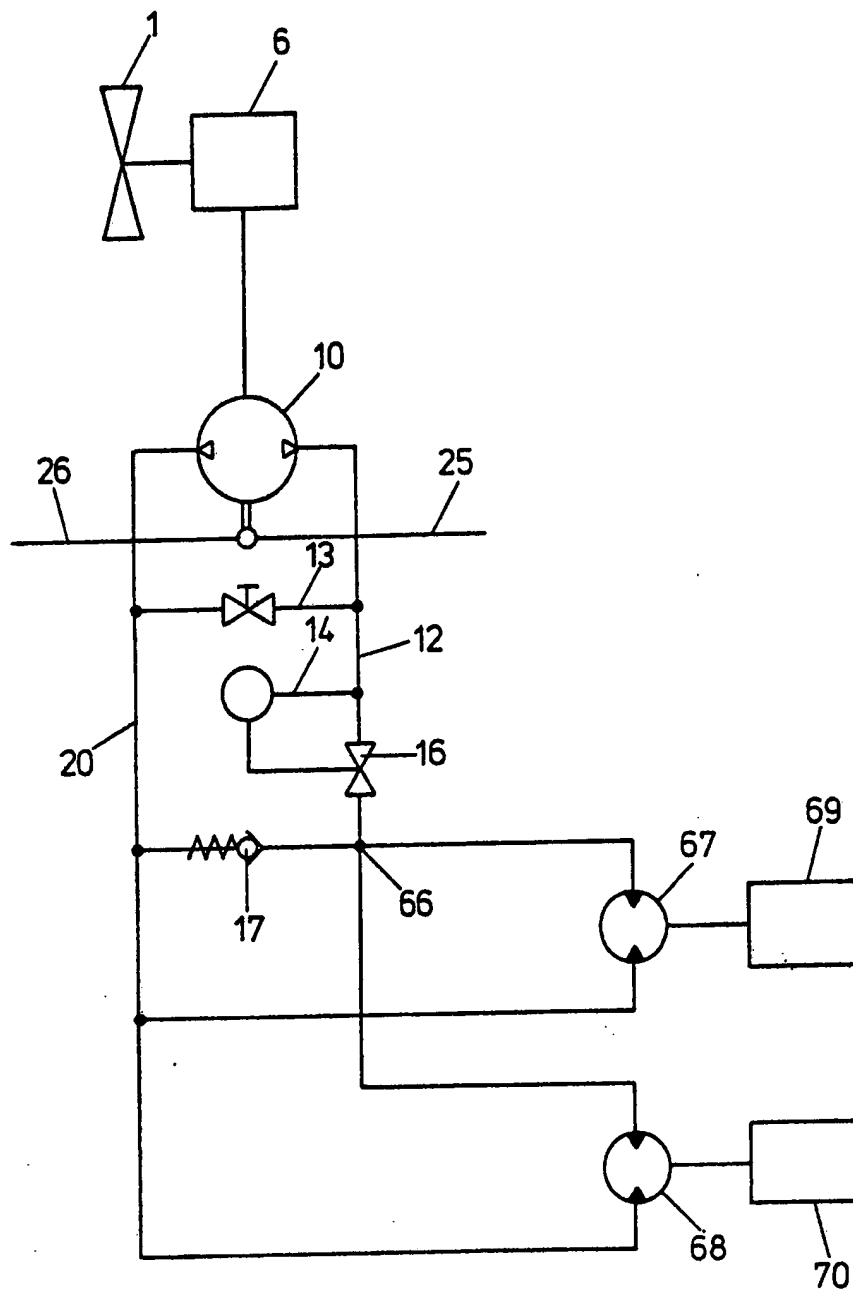


Fig. 7